Miroirs

Miroirs

Les systèmes à miroirs sont extrêmement utilisés, en particulier en infrarouge, en ultraviolet et pour les rayons X:

- Ils ne sont pas sujets à l'aberration chromatique.
- Ils sont la seul solution pratique pour des optiques de grand diamètre.

Pourquoi prendre des miroirs ?

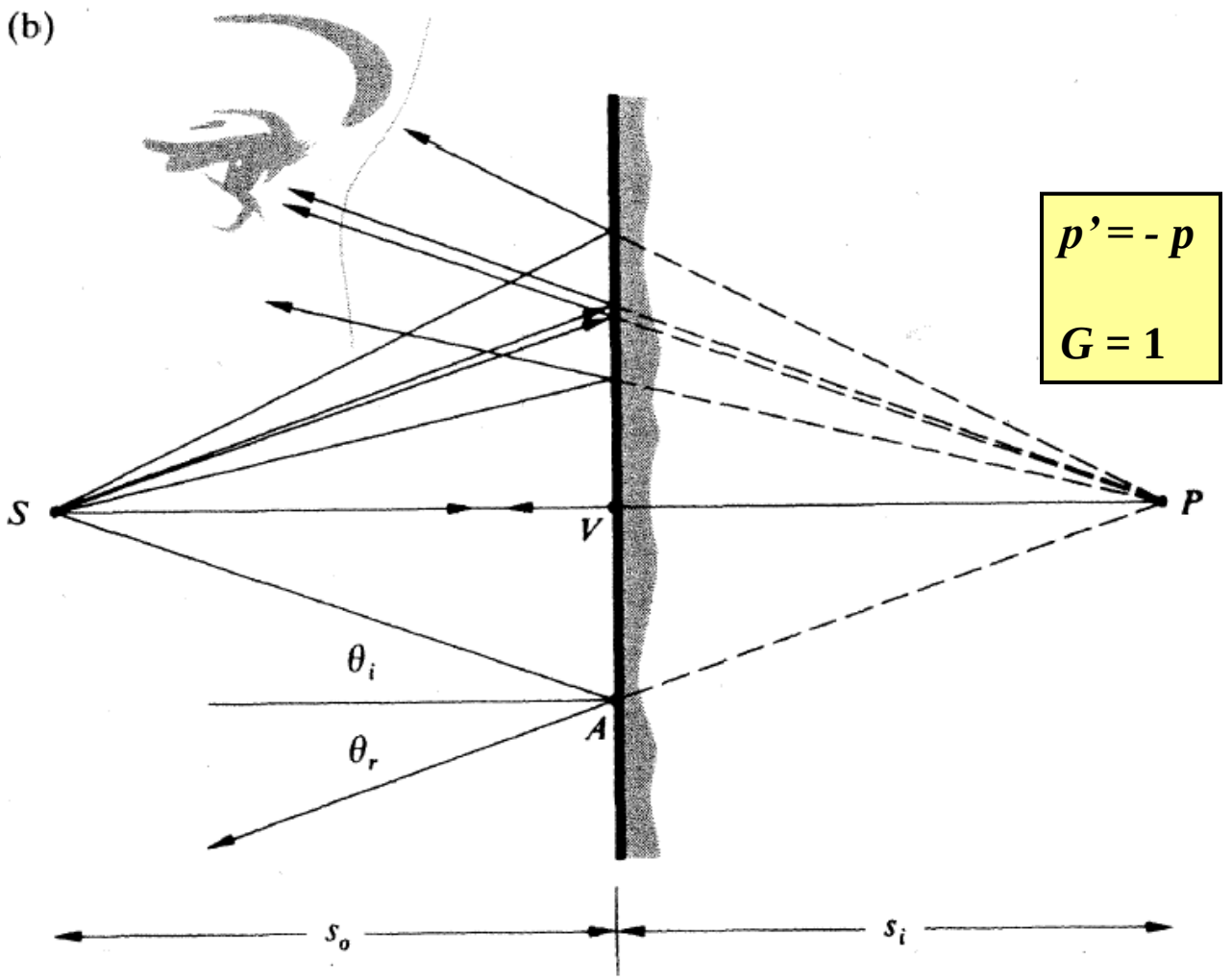
- Le problème est qu'il n'est pas facile de fabriquer des lentilles de qualité avec un très grand diamètre. Une lentille doit être parfaitement transparente et dépourvue de défauts à la fois internes (bulles...) et de surface.

- Un miroir en face avant n'est concerné que par la qualité de sa surface. Une lentille ne peul être tenue que par une monture externe et peut se déformer sous son propre poids.

- Un miroir peut en revanche être maintenu soit par ses bords soit aussi par l'arrière.

- Il est, entre autres, relativement simple de construire un système a miroir qui fonctionne sur une large bande spectrale, à la différence des systèmes à réfraction.

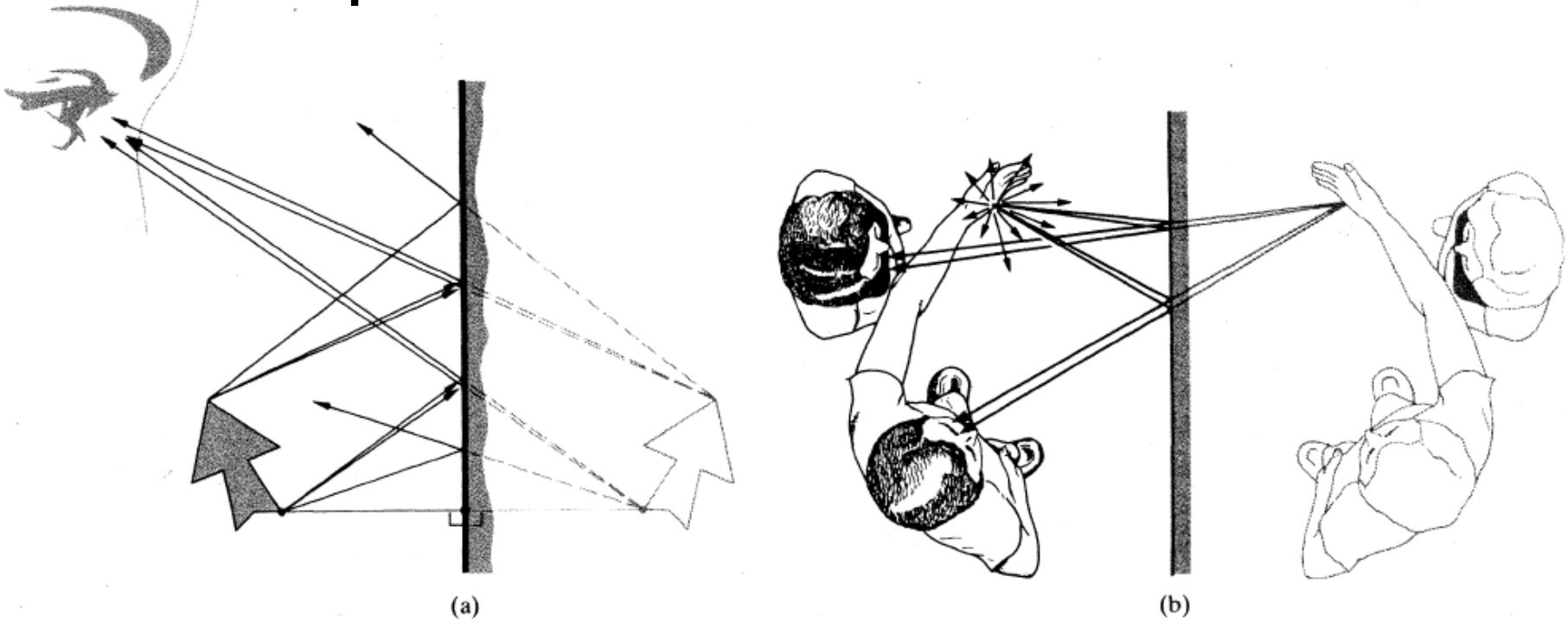
Miroirs plans



$p' = -p$

$G = 1$

Miroirs plans



(*a*) Image d'un objet étendu dans un miroir plan. (*b*) Images formées par un miroir plan.

- On voit sur la figure que chaque point d'un objet étendu, situé a la distance perpendiculaire s du miroir, est image a la même distance derrière le miroir.

Chiralité du miroir plan

- Dans le cas du miroir plan, l'image d'une main gauche, déterminée en faisant la perpendiculaire de chaque point de l'objet, est une main droite.
- On qualifie d'ailleurs parfois les images obtenues avec des miroirs plans de **chirales**. Ce terme, provenant du mot grec signifiant main, désigne justement deux figures, symétriques par rapport a un plan, comme la main gauche et la main droite.
- Le processus qui convertit un système de coordonnées droite dans l'espace objet en un système gauche dans le plan image est d'ailleurs appelé l'inversion chirale.
- On peut ainsi utiliser des systèmes comportant plusieurs miroirs plans pour réaliser plusieurs inversions.

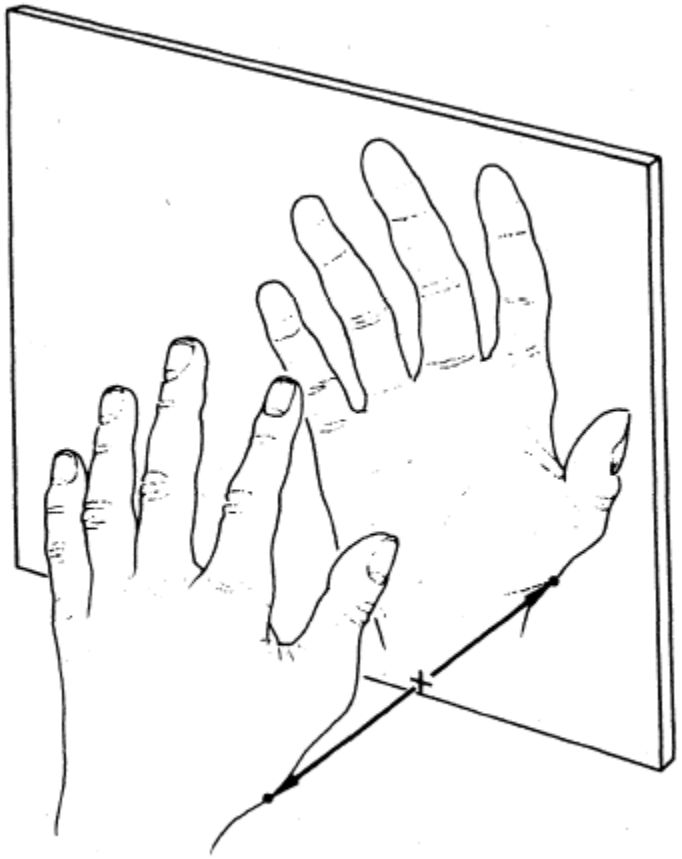
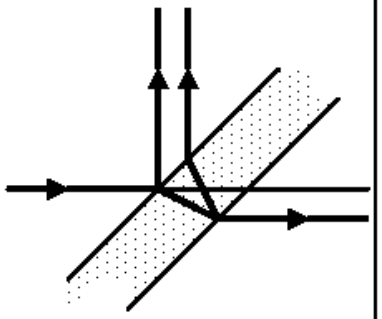
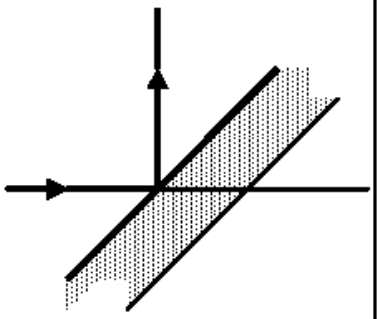
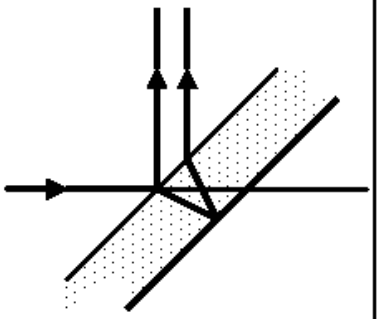
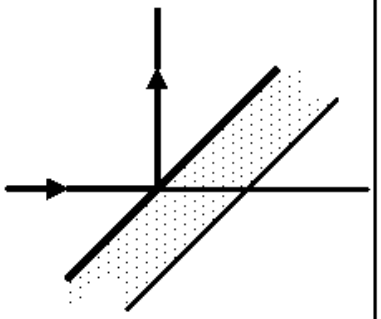


Image dans un miroir – inversion chirale.

Types de miroirs plans

			
Plaque de verre polie	Plaque de métal polie	Verre métallisé (face arrière)	Verre métallisé (face avant)
Facile à usiner			Facile à usiner
Résistant aux agents chimiques		Résistant aux agents chimiques	Surface délicate
Double image	Réflexion parfaite	Double image	Réflexion parfaite
Perte de lumière dans le verre		Perte de lumière dans le verre	
Sans emploi particulier	Eclairage	Glaces, miroirs	Miroirs optiques

La métallisation d'un miroir usuel se fait par un dépôt chimique d'un métal. Pour les miroirs de téléscopes, elle se fait par évaporation sous vide d'un métal (argent, aluminium, titane,…). L'épaisseur de la couche est de l'ordre du micromètre.

Exercices

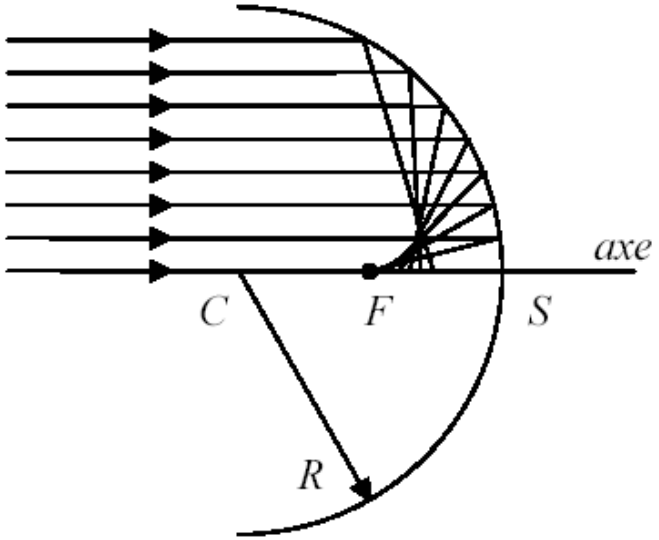
1. Quelle est la hauteur du plus petit miroir plan dans lequel on peut se voir en entier ?

2. (Travail personnel)
   Démontrer que si un miroir plan tourne d'un angle α, le rayon réfléchi tournera de 2α.

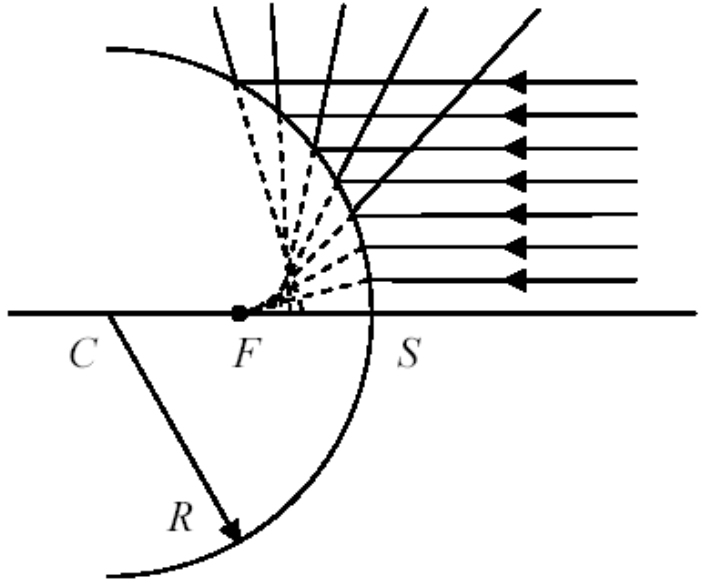
   Applet
   http://mimule.free.fr/lzago/cours/applets/NTNUJAVA/mirrordoubleangle/mirrordoubleangle.html

Miroirs sphériques

Un miroir sphérique est une portion de sphère, en général une calotte, réfléchissante. On distingue les **miroirs concaves** qui ont tendance à faire converger des rayons parallèles et les **miroirs convexes** qui les font diverger.

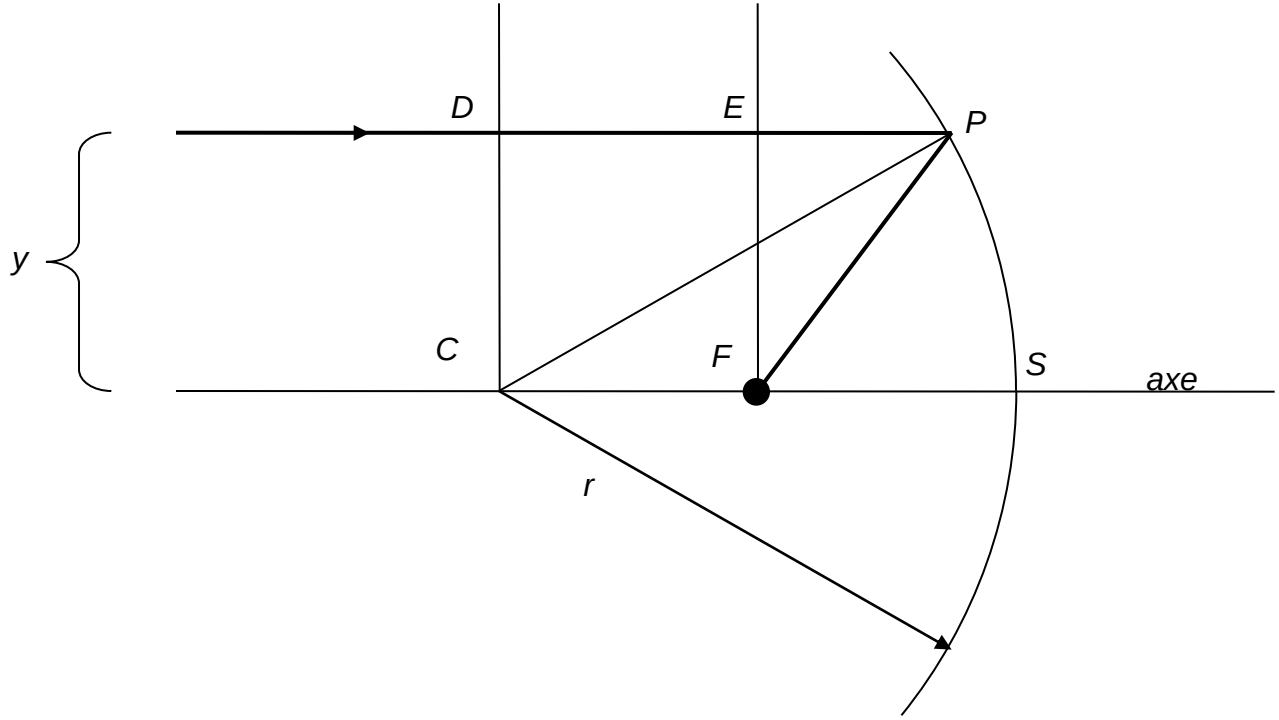


Concave

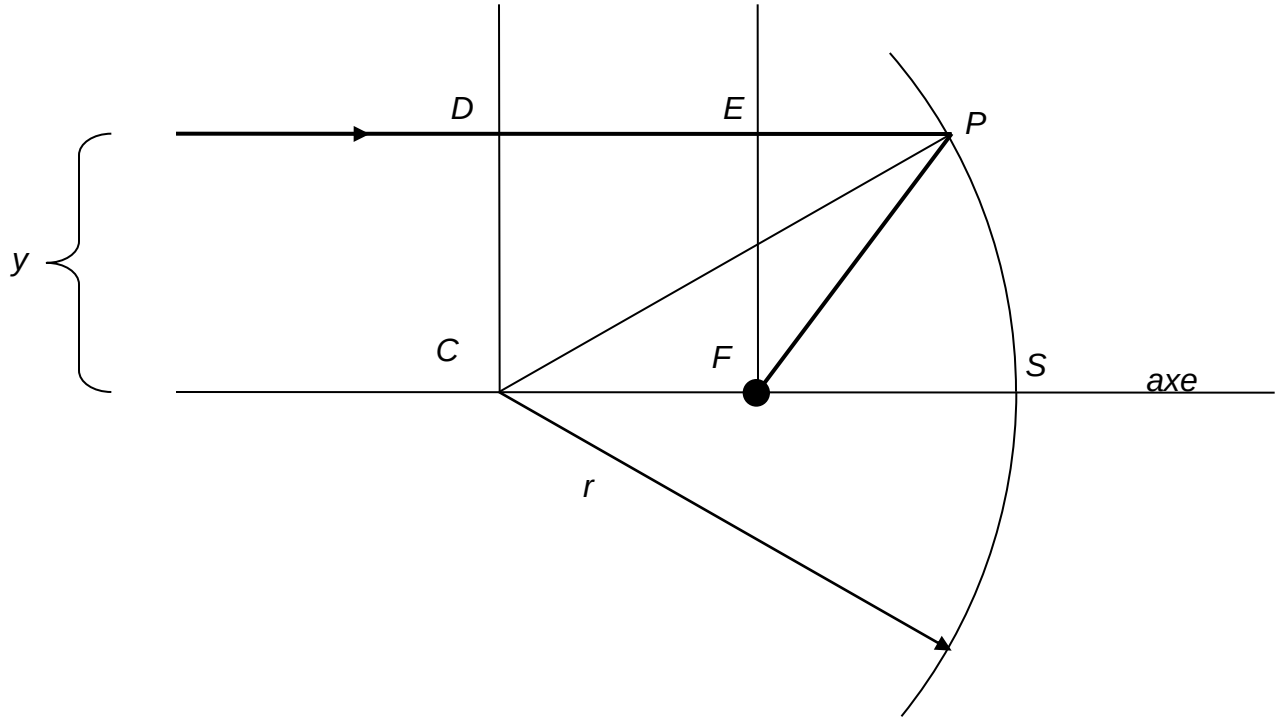


Convexe

Les rayons d'un faisceau étendu ne convergent pas tous en un même point. En revanche les rayons proches de l'axe convergent, avec une bonne approximation en un point *F*, appelé **foyer**, et **situé sur l'axe à mi-distance entre le miroir et le centre de courbure**.



Miroirs sphériques

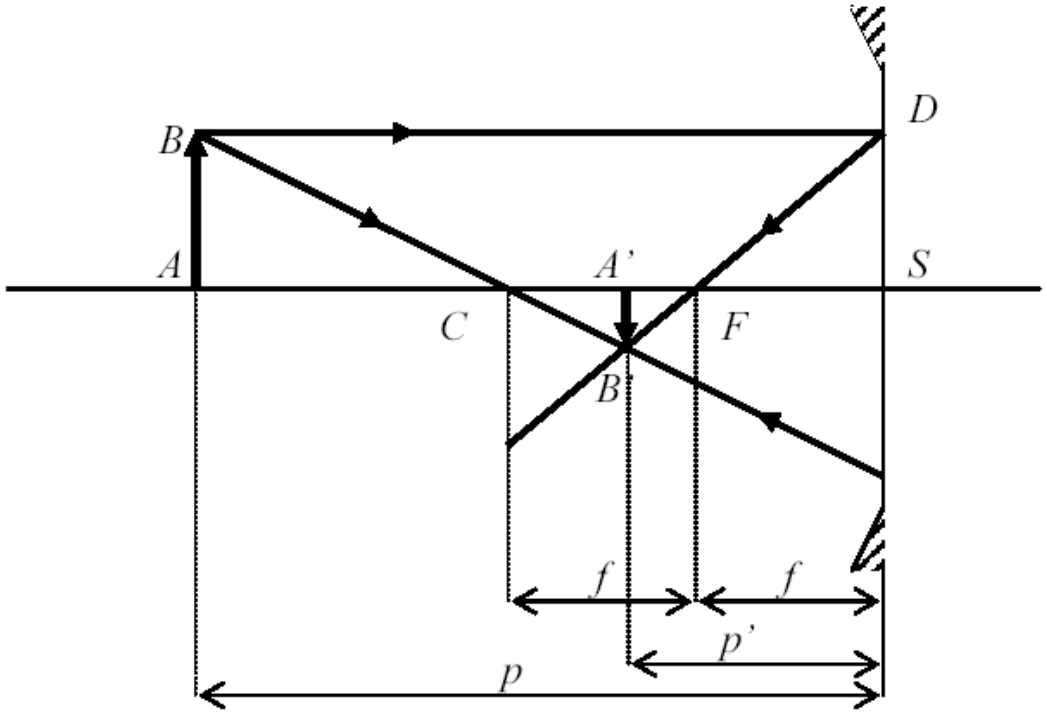


La distance *FS* est appelée **distance focale** du miroir.

Pour des miroirs dont l'ouverture est petite par rapport à leur rayon de courbure, les rayons incidents « proches » de l'axe convergent au foyer.

Image d'un miroir sphérique concave

Soit un miroir situé en S. Désignons par C son centre courbure et par F son foyer.
Soit un objet AB situé entre C et l'infini. La droite AS coïncide avec l'axe du miroir.

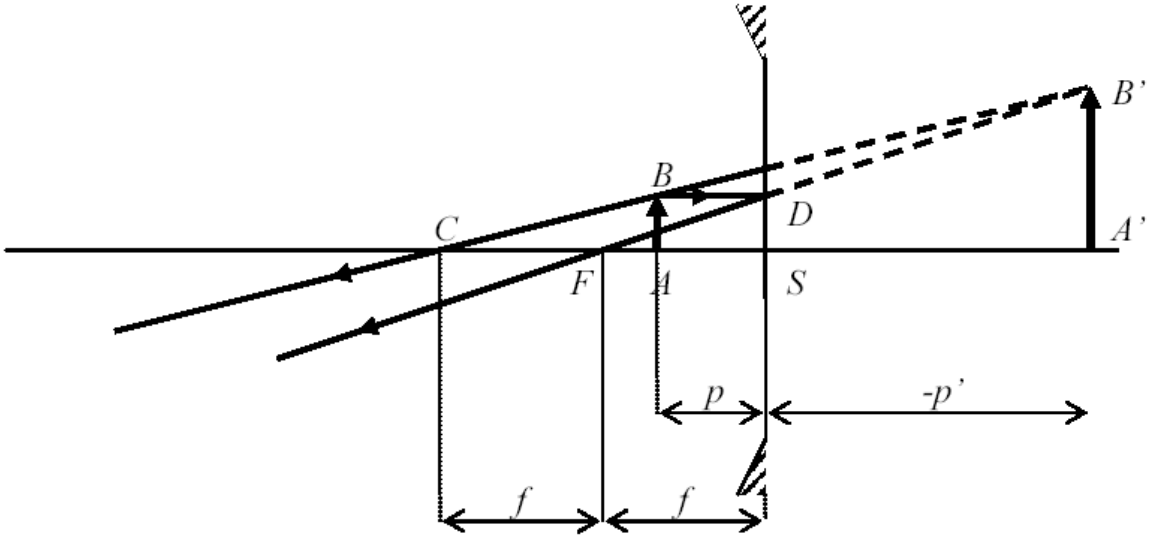


Pour trouver l'image de AB, procéder comme suit :

- Un rayon issu de B et passant par le centre C donne un rayon réfléchi passant aussi par le centre ;
- Un rayon issu de B parallèle à l'axe donne un rayon réfléchi passant par le foyer ;
- Ces deux rayons réfléchis se coupent en un point B'. $A'B'$ est l'image de AB.

Image d'un miroir sphérique concave

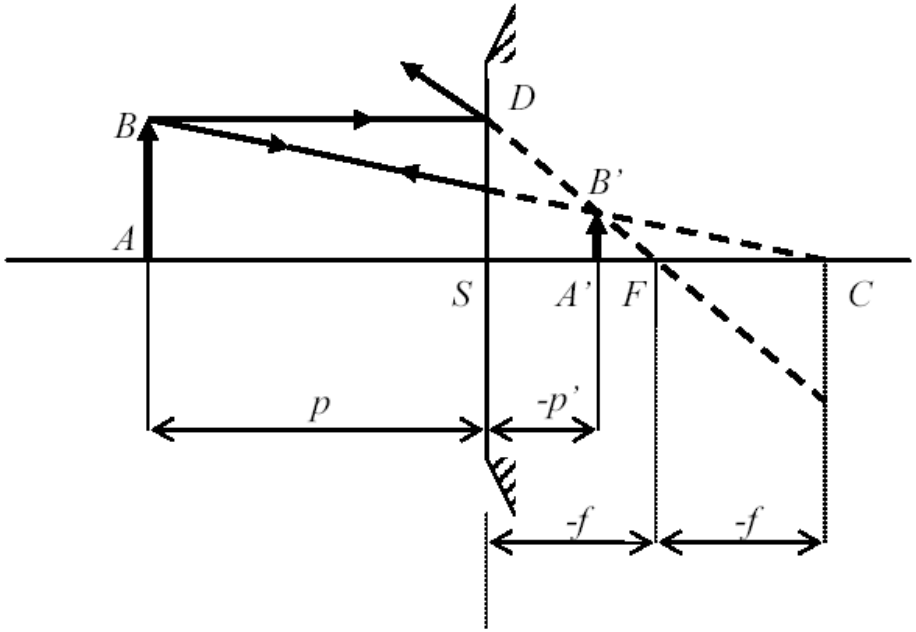
- Si l'objet est situé entre *C* et l'infini, l'image se trouve entre *C* et *F*.
- Si l'objet est situé entre *C* et *F*, l'image se trouve entre *C* et l'infini.
- Si l'objet est situé entre F et le miroir, l'image est virtuelle



Une image réelle peut être visualisée sur un écran.
Ce n'est pas le cas d'une image virtuelle; en revanche on peut la voir en regardant dans le miroir.

Image d'un miroir sphérique convexe

Soit un miroir situé en *S*. Désignons par *C* son centre courbure et par *F* son foyer.
Soit un objet *AB* situé du côté réfléchissant du miroir. La droite *AS* coïncide avec l'axe du miroir.



Pour trouver l'image de *AB*, la procédure est analogue à celle décrite pour les miroirs concaves :

- Un rayon issu de *B* et se dirigeant vers le centre *C* donne un rayon réfléchi semblant provenir du centre ;
- Un rayon issu de *B* parallèle à l'axe donne un rayon réfléchi semblant provenir du foyer ;
- Les prolongements de ces deux rayons réfléchis se coupent en un point *B'*. *A'B'* est l'image virtuelle de *AB*.

Image d'un miroir sphérique

Soit p la distance de l'objet au miroir, p' la distance du miroir à l'image et f la distance focale.

« Formule des miroirs sphériques »

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$$

Grandissement

$$G=-\frac{p'}{p}$$

Applets miroir sphérique

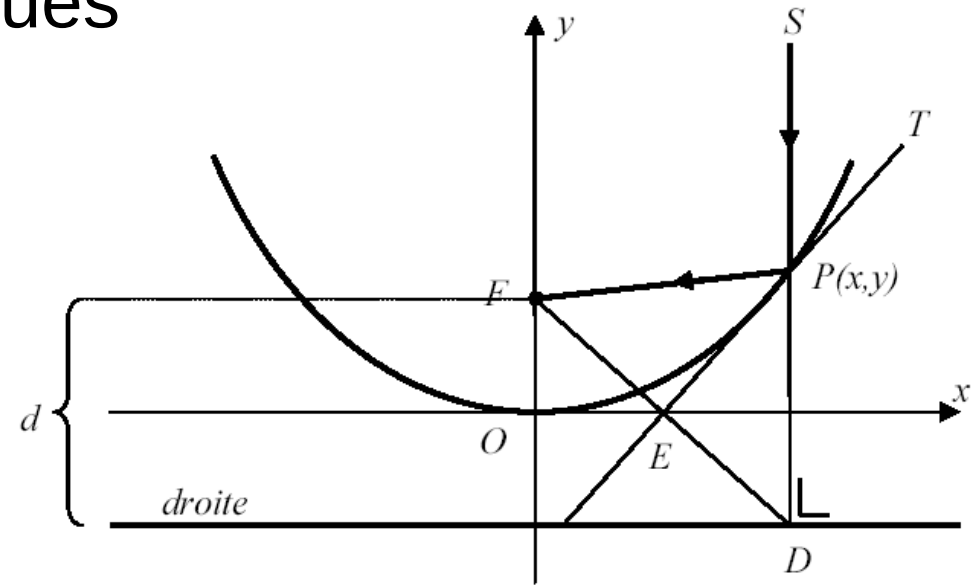
http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/optigeo/mirspher.html

Banc optique virtuel
http://hypo.ge.ch/www/physic/simulations/optique/bancopt.html

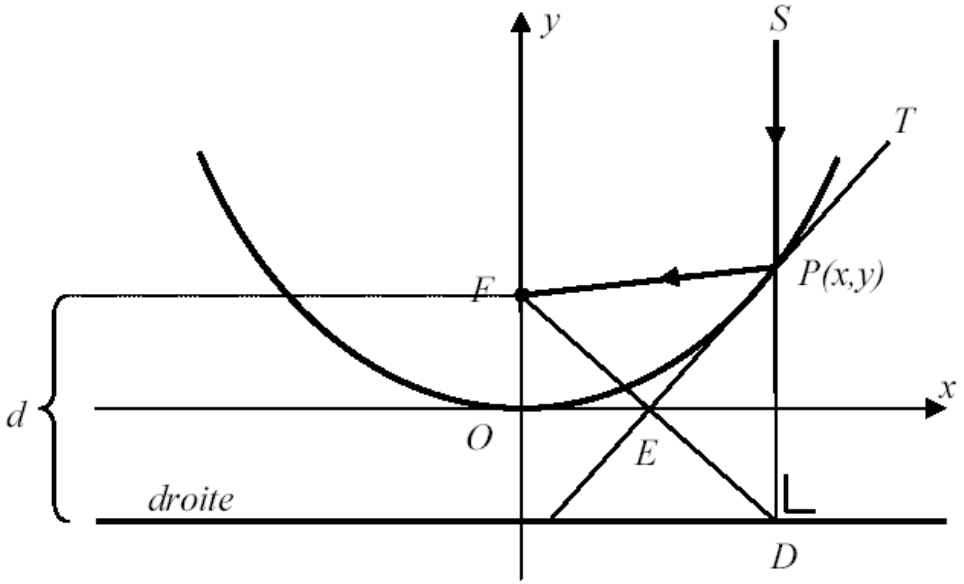
Conventions de signe

- La focale ***f*** est **positive** pour un miroir concave,
  négative pour un miroir convexe.
- ***p*** est positif si l'objet est réel, négatif s'il est virtuel.
- ***p'*** est positif si l'image est réelle, négatif si elle est virtuelle.
- ***R,*** le rayon de courbure est **positif si le miroir est concave**, et négatif dans le cas contraire.

Miroirs paraboliques



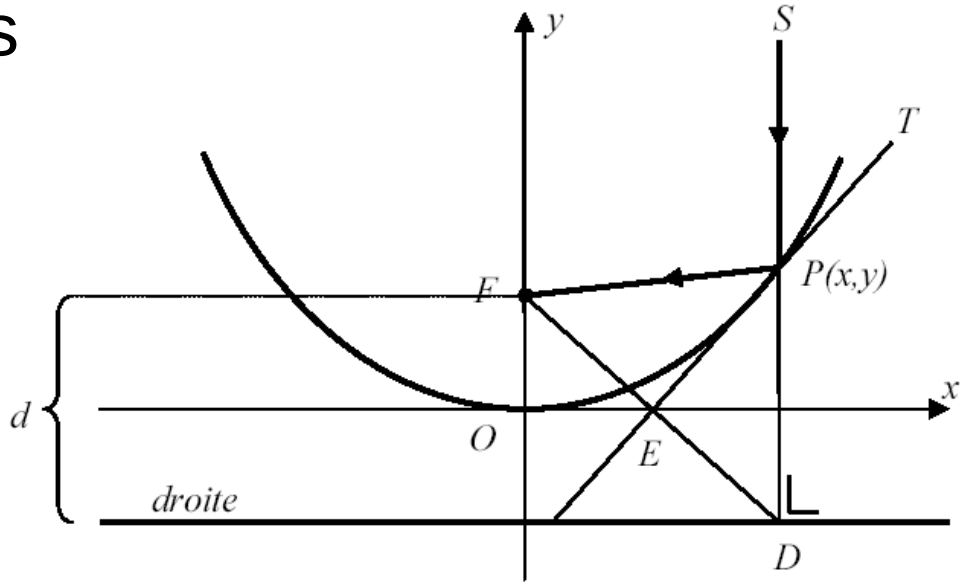
- Nous avons vu qu'un miroir sphérique ne focalise qu'approximativement un faisceau parallèle.
- L'approximation est d'autant plus mauvaise que l'ouverture du miroir est grande.
- Les miroirs paraboliques focalisent parfaitement un faisceau orienté selon l'axe et sont pour cette raison abondamment utilisés en pratique (par ex. : réflecteur de projecteur ou de phare d'automobile, télescope).
- En revanche les miroirs paraboliques sont plus difficiles à usiner que les miroirs sphériques.



Equation d'une parabole d'axe *Oy*

$$y = \frac{x^2}{2d}$$

Miroirs paraboliques



- Un rayon *SP* parallèle à *Oy* et incident en *P* sera donc renvoyé en *F*.
- Pour cette raison *F* est appelé le **foyer** de la parabole.
- Lorsqu'on fait tourner la parabole autour de son axe *Oy*, on obtient une surface appelée paraboloïde de révolution.
- Un miroir ayant la forme d'une portion de cette surface a donc la propriété de réfléchir les rayons d'un faisceau parallèle à l'axe *Oy* vers son foyer.
- De plus, tous les rayons du faisceau passant simultanément dans un plan perpendiculaire à l'axe du miroir parabolique arrivent après réflexion simultanément au foyer.
- Une onde plane parallèle à *Oy* est réfléchie sous la forme d'une onde sphérique vers le foyer.

Problème:

Approximation d'un miroir parabolique par un miroir sphérique

- Soit une parabole d'axe *Oy* ayant son foyer en (0, f) et un cercle de rayon $2f$ ayant son centre en (0, $2f$).
  a) Exprimer mathématiquement la différence entre ces deux courbes en fonction de x.
  b) En fonction de f, quel est le rayon d'ouverture maximal (x) si l'on tolère une erreur de λ / 10 pour un longueur d'onde λ = 500 nm .

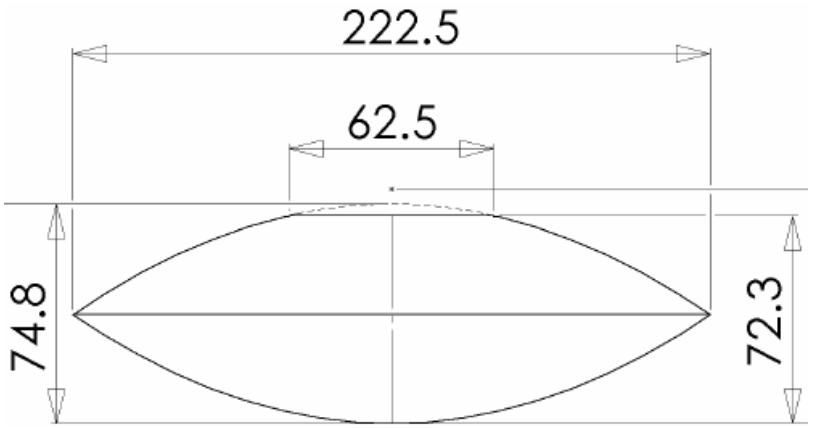
Exercices

1. Un miroir donne d'un objet placé à 1 m une image droite et réduite de ½.
   Quelle est la focale du miroir ?
   Ou se trouve l'image ?

2. Un miroir sphérique concave de 20 cm de rayon sert à projeter l'image d'un objet sur un écran situé à 110 cm.
   Quelle est la focale du miroir ?
   Ou se trouve l'objet ?
   Quel est le grandissement ?

Travail personnel - Mirage 3D

Ce remarquable gadget optique crée sur son sommet deux images 3D spéculaires d'un petit objet placé à son intérieur.



La focale des deux miroirs (paraboliques) est de 74.8 mm.

- Calculer la position et les grandissements lateral et longitudinal des deux images visibles sur la photo (hauteur objet = 10 mm).
- A l'intérieur de quel volume d'espace doit se trouver l'œil d'un observateur pour voir l'image 3D ?